УДК 550.34

СПЕКТРАЛЬНАЯ СТРУКТУРА НИЗКОЧАСТОТНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА НА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СТАНЦИЯХ КАМЧАТКИ

Касимова В.А. , Копылова Г.Н.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, vika@emsd.ru

Введение

Низкочастотные микросейсмические колебания, регистрируемые широкополосными сейсмическими станциями, являются важным источником информации о процессах в земной коре. Микросейсмы (сейсмический шум) представляют собой непрерывные малоамплитудные колебания земной поверхности, которые возникают, в основном, за счет воздействия атмосферных и океанических процессов на земную кору. В качестве таких процессов могут выступать крупномасштабных вариаций атмосферного давления, ветровая деятельность, циклоны, ураганы, воздействие океанических волн на берег и шельф, а также «тихие землетрясения» и медленные движения верхнего слоя земной коры [3, 6].

Известно, что интенсивность микросейсм может быть различной на разных станциях в зависимости от их местоположения, грунтовых условий, особенностей сезонных и суточных вариаций. Кроме пространственной и временной неравномерности, микросейсмы также характеризуются неравномерностью распределения интенсивности в зависимости от частоты, что обусловлено локальными различиями комплекса вызывающих их причин [6].

В работах [3, 5 и др.] с использованием оригинальной технологии, разработанной д. ф.-м. н. А.А. Любушиным, Институт физики Земли РАН, г. Москва (ИФЗ РАН), показана возможность использования записей на сети широкополосных сейсмических станций для определения районов и времени возникновения сильнейших землетрясений. Диапазон периодов вариаций шума от 2 до 500 минут рассматривался в качестве наиболее информативного для сейсмопрогностических целей. В соответствии с типичным видом спектра сейсмического шума [6] в этом диапазоне периодов наблюдается монотонное увеличение интенсивности шума с уменьшением частоты.

С 2012 г., совместно Камчатским филиалом Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) и ИФЗ РАН, проводятся работы по адаптации этой технологии с использованием записей на сети из 17-ти широкополосных станций Геофизической службы РАН в районах Камчатки и о-ва Парамушир (рис. 1 в [5]). Станции оборудованы различной трехкомпонентной цифровой сейсмометрической аппаратурой: Guralp (Англия): CMG-3TB (частотный диапазон 0.0083 - 40 Гц), CMG-6TD (0.033 - 40 Гц); Streckeisen (Швейцария): STS-1 (0.0027 - 10 Гц), STS-2 (0.0083 - 40 Гц), Geotech (США): KS-2000 (0.01 - 40 Гц); НПП “Геотех” (Россия): СМ3-ОС (0.02 - 7 Гц). В качестве источников сейсмических данных использовались записи вертикальных компонент с частотой оцифровки 100 Гц (BHZ-записи). При выполнении этой работы были созданы временные ряды записей сейсмического шума с дискретизацией 1 минута [1, 5]. Далее в настоящей работе будем называть такие ряды 1-минутными рядами.

Целью настоящей работы является исследование особенностей 1- минутных, среднечасовых и среднесуточных временных рядов низкочастотного сейсмического шума на четырех станциях: Каменская (KMSK), Петропавловск (PET), Тиличики (TL1) и Северо-Курильск (SKR) (таблица) с использованием спектрального анализа. Обсуждаются особенности спектральной структуры шума в зависимости от местоположения станций (прибрежная или континентальная), времени года, регистрирующей аппаратуры и других факторов.

Методика исследований

1-минутные временные ряды шума в относительных величинах амплитуды предварительно пересчитывались в значения скорости с учетом чувствительности канала BHZ для каждой станции. Затем с использованием программы Diagnos [2] для каждой станции были созданы 1-минутные временные ряды длиной от трех месяцев до двух лет, в т.ч. временные ряды длиной 2 года с 01.01.2011 по 31.12.2012 гг.; длиной 1 год с 01.01.2011 по 31.12.2011 гг. и с 01.01.2012 по 31.12.2012 гг.; длиной 0.5 года с 1 января по 30 июня и с 1 июля по 31 декабря для 2011 и 2012 гг.; длиной 3 месяца: декабрь – февраль (зима), март – май (весна), июнь-август (лето) и сентябрь – ноябрь (осень) за 2011 и 2012 гг.

С помощью программы разведочного анализа свойств временных рядов Spectra_Analyzer, (автор А. А. Любушин) выполнялась процедура устранения больших выбросов (винзоризация) в 1-минутных временных рядах [4]. Эта процедура выполнялась для того, чтобы убрать большие выбросы технического характера (калибровки, сбои аппаратуры), а также выбросы, связанные с прохождением поверхностных волн от сильнейших землетрясений, в т.ч. от японского землетрясения Тохоку 11.03.2011 г., M_w = 9.1 и землетрясений в районе о-ва Суматра 11.04.2012 г., M_w = 8.7 и M_w = 8.2 (рис. 1 а). Из полученных «винзоризованных» 1-минутных рядов строились среднечасовые и среднесуточные временные ряды сейсмического шума путем усреднения значений исходного ряда в окнах длиной 60 и 1440 значений (рис. 1). Затем из полученных 1-минутных, среднечасовых и среднесуточных рядов строились спектры мощности с использованием AR-модели (метод максимальной энтропии) [4].

Таблица. Характеристика сейсмических станций и аппаратуры

Станция	Код станции		Координаты, град		h, м	Аппаратура	Частотный диапазон, Гц	Грунт
	рег.	межд.	с.ш.	в.д.				
Каменская	KM1	KMSK	62.4669	166.2055	45	CMG6TD	0.033-40	дисперсный уплотненный мерзлый (щебень, глина)
Петропавловск	PET	PET	53.0233	158.6499	100	STS-1	0.0027-10	скальный (долериты, кремнистые сланцы)
Северо-Курильск	SKR	SKR	50.6704	156.1158	30	CMG3TB	0.0083-40	дисперсный уплотненный (глыбы, щебень, глина)
Тиличики	TL1	TILK	60.4460	166.1450	25	CMG3TB	0.0083-40	дисперсный уплотненный мерзлый (щебень, глина)

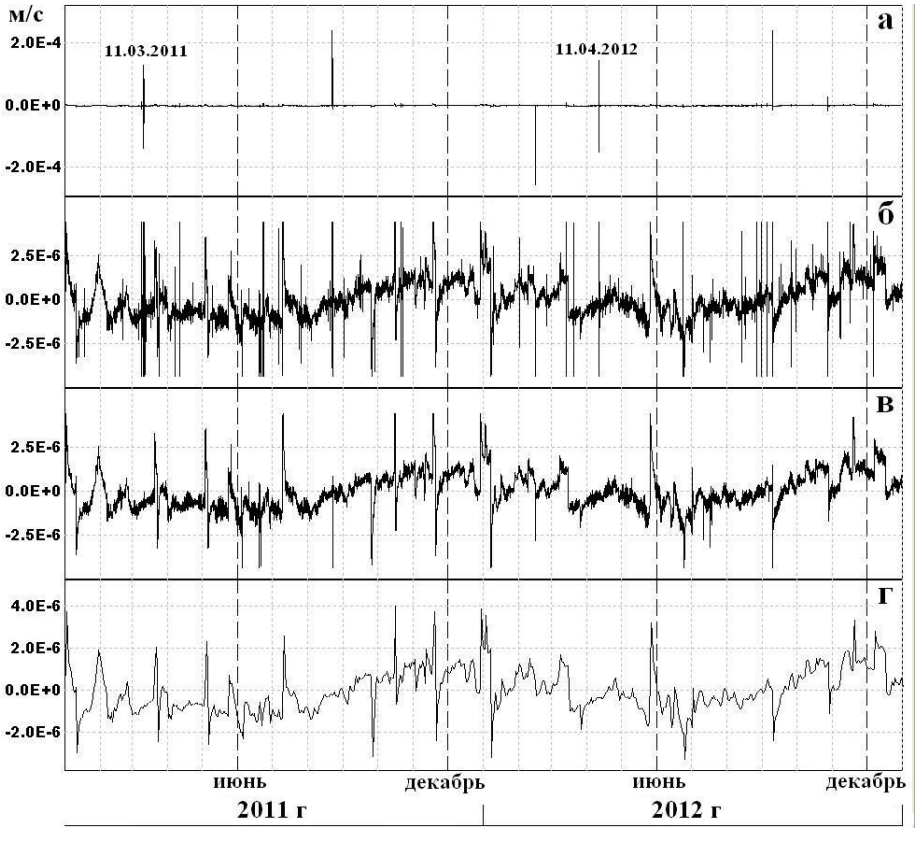

Рис. 1. Преобразование 1-минутного временного ряда сейсмического шума на с/ст. Петропавловск (PET): а – 1-минутный временной ряд сейсмического шума с учетом чувствительности регистрирующего канала BHZ; б – 1-минутный ряд шума после устранения больших выбросов (винзоризация); в – среднечасовой ряд сейсмического шума; г – среднесуточный ряд сейсмического шума.

При построении спектров выбор скользящего временного окна и порядка авторегрессии производились с учетом длины временного ряда и необходимости получения достаточной детальности спектра. Для 1-минутных

временных рядов скользящее временное окно составляло 2048 отсчетов, для среднечасовых - 720 отсчетов, для суточных - 180 и 92 отсчетов.

Обсуждение результатов

На рис. 2 представлены спектры мощности 1-минутных временных рядов продолжительностью 1 и 2 года. В диапазоне периодов от 10-20 до 1000 минут наблюдается монотонное увеличение амплитуд спектральных гармоник шума на всех станциях, что соответствует типичному спектру сейсмического шума.

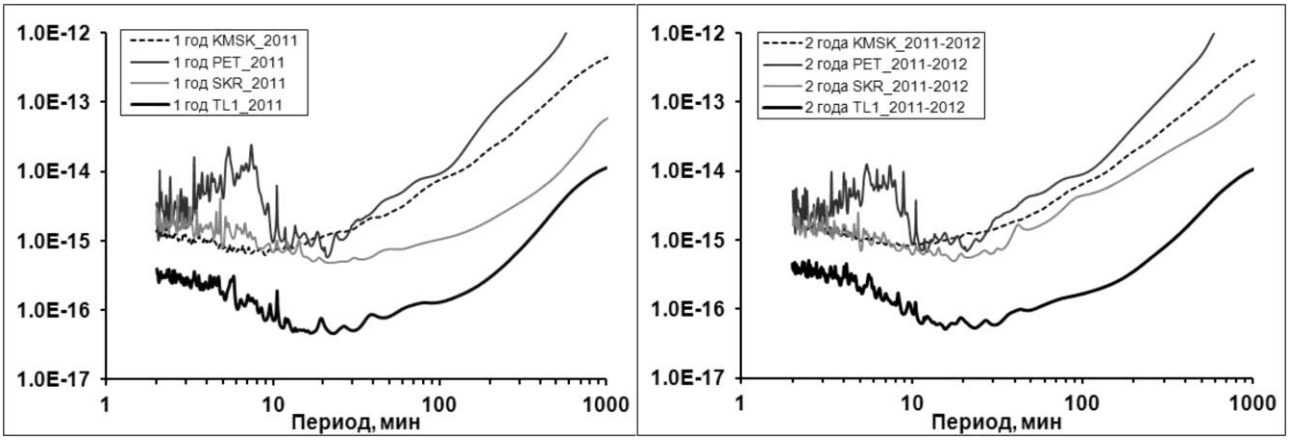

Рис. 2. Спектры мощности одноминутных рядов сейсмического шума на сейсмических станциях PET, KMSK, SKR, TL1 при их длине 1 год (слева) и 2 года (справа)

На станциях TL1, KMSK и SKR наблюдается уменьшение амплитуд спектральных составляющих в диапазоне периодов от 2 до примерно 15 мин. (рис. 2). Общие закономерности вида спектров сейсмического шума на этих трех станциях могут характеризовать близкие локальные сейсмогеологические условия в районах их расположения (дисперсный уплотненный грунт, табл.).

На с/ст. PET в диапазоне периодов 2 - 10 мин. происходит увеличение амплитуд спектральных составляющих, что может быть связано с техногенной зашумленностью записей вследствие расположения станции в черте г. Петропавловска-Камчатского и локальными сейсмогеологическими условиями (скальный грунт).

Известно, что штормовые микросейсмы затухают при распространении вглубь континента, и в спектрах мощности сейсмического шума на континентальных станциях они практически отсутствуют [6]. Эффект относительного уменьшения амплитуд сейсмического шума, по сравнению с прибрежными станциями PET и SKR, наблюдается в высокочастотной области спектров шума на континентальной сейсмостанции KMSK и на станции TL1, расположенной на берегу залива Корфа, Берингово море.

Спектры шума на станциях SKR и TL1 имеют схожий внешний вид при некотором отличии в амплитудах (на с/ст. SKR амплитуды шума больше). Однотипный вид спектров может быть обусловлен тем, что обе станции находятся недалеко от береговой линии (прибрежные) и на них установлена одинаковая сейсмометрическая аппаратура (табл.).

В спектрах мощности, рассчитанных по 1-минутным временным рядам длиной полгода на с/ст. PET (рис. 3), также как и в спектрах, построенных для рядов продолжительностью 1 и 2 года (рис. 2), в диапазоне периодов 2 - 10 минут наблюдается повышение интенсивности шума. С увеличением периодов до ~30 - 40 минут происходит понижение интенсивности шума и наблюдается монотонное увеличение амплитуд шума на периодах более 40 минут.

Отметим, что спектры, построенные для 1-минутных временных рядов различной длины, подобны. Это свидетельствует об устойчивости спектральной структуры шума на отдельных станциях в течение различных сезонов года и за период времени до двух лет. Вместе с тем, уровень шума на прибрежных станциях PET, SKR и TL1 в диапазоне периодов от 2 до 14 минут для первых половин года (январь - июнь) выше, чем для вторых половин 2011 и 2012 годов (рис. 3). Такой эффект не прослеживается на внутриконтинентальной станции KMSK, на которой не обнаружена зависимость уровня сейсмического шума от времени года.

В спектрах мощности, построенных для 1-минутных рядов продолжительностью 3 месяца, наблюдается относительное повышение интенсивности микросейсм в течение весеннего периода

(март—май) (рис. 4). Особенно ярко такая особенность проявляется на с/ст. PET в диапазоне периодов 2–10 мин.

Вид спектров мощности среднечасовых временных рядов длиной 1 и 2 года слабо зависит от расположения сейсмостанций – континентальная или прибрежная (рис. 5). Вместе с тем, такие спектры имеют особенности морфологической структуры, отличающиеся для прибрежных и континентальных станций. В спектрах для прибрежных станций наблюдается четкое раздвоение спектральных пиков суточного и полусуточного периодов. В спектре для континентальной станции KMSK суточный максимум не имеет такого раздвоения. Это свидетельствует о том, что приливные компоненты сейсмического шума, обусловленные, главным образом, морскими приливами, выражены ярче на прибрежных станциях.

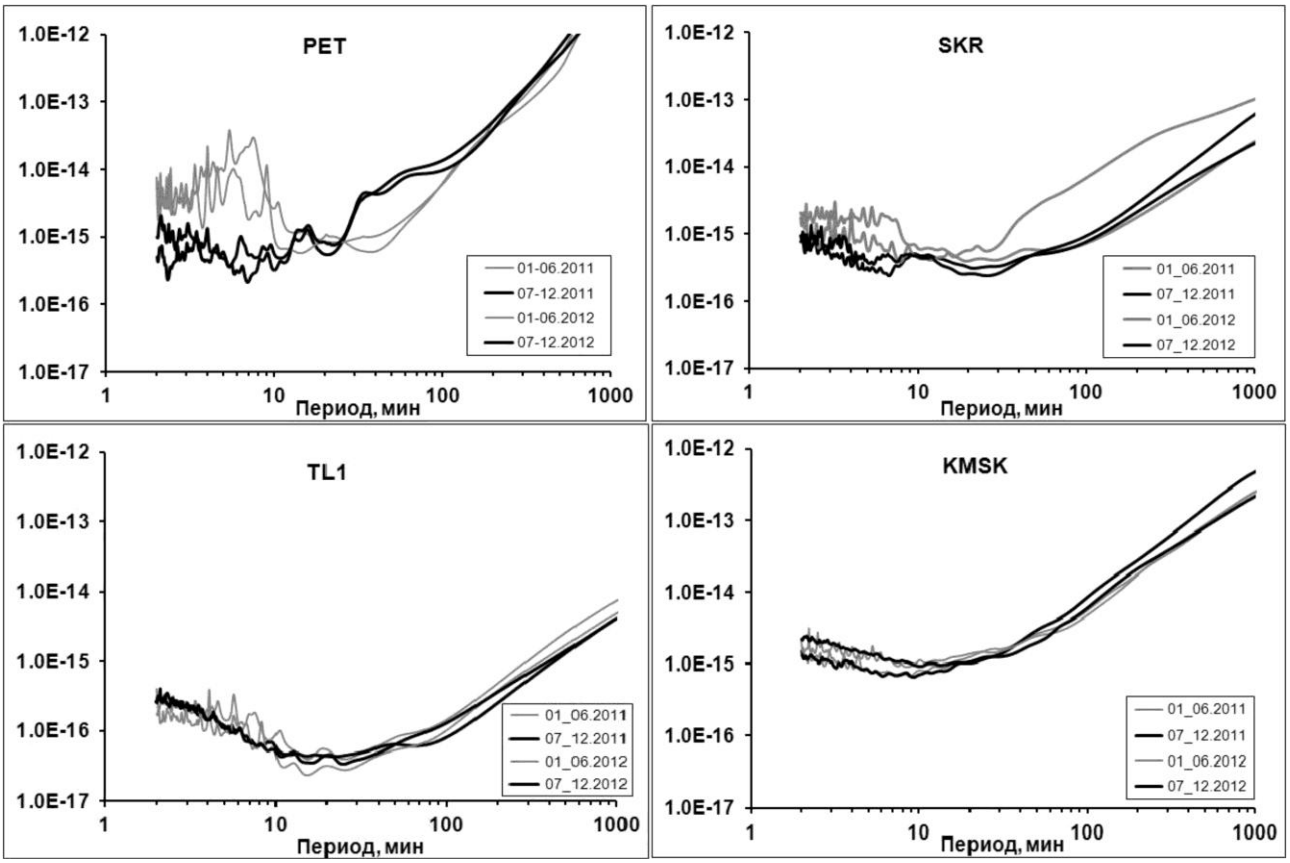

Рис. 3. Спектры мощности одноминутных рядов сейсмического шума длиной 0.5 года на сейсмических станциях PET, SKR, TL1 и KMSK

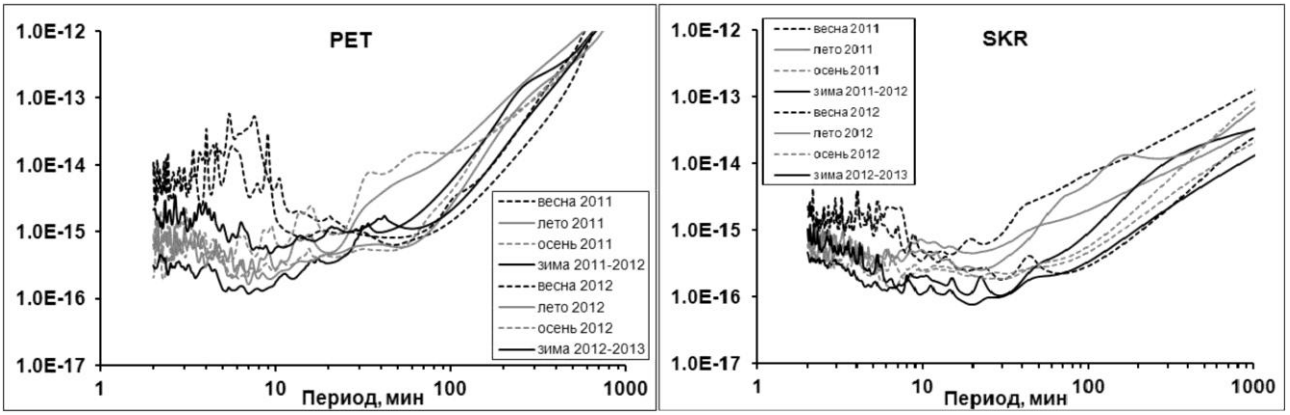

Рис. 4. Спектры мощности одноминутных рядов сейсмического шума длиной 3 месяца на сейсмических станциях PET (слева) и SKR (справа)

По результатам спектрального анализа 1-минутных временных рядов сейсмического шума в диапазоне периодов 2–1000 мин. на четырех станциях можно сделать предварительные выводы:

- на всех трех прибрежных станциях PET, SKR и TL1 наблюдается повышение интенсивности микросейсм в первых половинах календарного года в диапазоне периодов от 2 до ~14 минут;

- в указанном диапазоне периодов уровень шума наиболее высокий на с/ст. PET, что может быть обусловлено ее расположением в городе, а также вследствие локальных сейсмогеологических условий (скальные породы);

- обнаружены сезонные изменения уровня шума на прибрежных станциях; при этом повышенные амплитуды шума отмечаются в первой половине года, особенно весной.

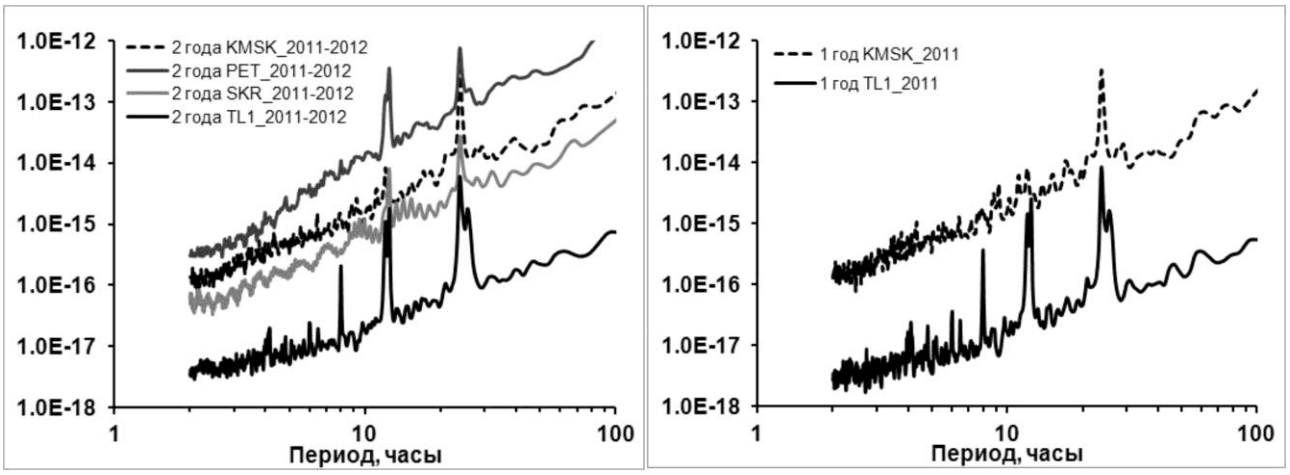

Рис. 5. Спектры мощности среднечасовых рядов сейсмического шума длиной 2 года на станциях PET, KMSK, SKR, TL1 (слева) и спектры мощности среднечасовых рядов сейсмического шума длиной 1 год на континентальной станции KMSK и на прибрежной станции TL1 (справа)

Результаты спектрального анализа 1-минутных записей сейсмического шума могут быть полезны при интерпретации карт распределения статистических параметров сейсмического шума по пространству. Примеры таких карт приводятся в [5]. Предполагается в дальнейшем выполнить исследование спектральной структуры 1-минутных рядов сейсмического шума на всех широкополосных сейсмических станциях на территории Камчатского края.

В спектрах мощности среднечасовых временных рядов сейсмического шума обнаружено наличие полусуточных и суточных приливных волн, морфология и интенсивность которых зависит от местоположения станции. Для прибрежных станций PET, SKR, TL1, наряду с чисто суточной и полусуточной компонентами с периодами 24 и 12 ч, отмечаются ярко выраженные спектральные максимумы, свидетельствующие о наличии волн O1 (период 25.82 ч) и M2 (период 12.42 ч), которые присутствуют как в земном, так и в океаническом приливе.

В среднечасовом ряду сейсмического шума на континентальной сейсмостанции KMSK присутствует устойчивый максимум на периоде 24 ч. и отсутствуют спектральные максимумы, соответствующие компонентам с периодом 12 ч и 8 ч.

Авторы выражают благодарность Д.В. Дрознину и Д.В. Чеброву, КФ ГС РАН, за полезные консультации и обсуждение работы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-05-0014б-а.

Список литературы

1. Касимова В.А., Любушин А.А. Перспективы использования данных сети широкополосных сейсмических станций для изучения сигналов синхронизации поля микросейсм на Камчатке // Исследования в области наук о Земле. Матер. X рег. мол. конф. Петропавловск-Камчатский: ИВИС ДВО РАН, 2012. С. 115–126.

2. Копылова Г.Н., Иванов В.Ю., Касимова В.А. Разработка элементов информационной системы комплексных геофизических наблюдений на территории Камчатки // Российский журнал наук о Земле. 2009. Т. 11. DOI:10.2205/2009ES000329.

3. Любушин А.А. Карты свойств низкочастотных микросейсм для оценки сейсмической опасности // Физика Земли. 2013. № 1. С. 11–20.

4. Любушин А.А. Разведочный анализ свойств временных рядов на основе использования интерактивной программы Spectra_Analyzer: Учебное пособие для старших курсов геофизического факультета. М.: РГГРУ, 2006. 46 с.

5. Любушин А.А., Копылова Г.Н., Касимова В.А., Таранова Л.Н. Мульти-фрактальные характеристики сейсмического шума на Камчатке, 2011–2013 гг. // Наст. сборник. С.

6. Яновская Т.Б. Основы сейсмологии. Изд-во: С.-Петерб. университета, 2008. 222 с.